

Параметр		Единица измерения	Значение
Расход пара	из газоохладителя	кг/с	80,6
	из котла-утилизатора	кг/с	59,4
	суммарный	кг/с	140
Мощность ПТУ		МВт	210
КПГУ		–	0,565
Мощность ПГУ		МВт	483
КПД ПГУ-ВЦГ (брутто)		%	53,8
КПД ПГУ-ВЦГ (нетто)		%	52,09

Расчеты, проведенные в программном пакете ThermoFlow, показали, что добавление shift-реактора в схему перспективной воздушной ПГУ–ВЦГ [6] (при неизменной компоновке основного и вспомогательного оборудования) снижает КПД установки на 5 % (КПД ПГУ–ВЦГ (нетто) составит 47 %). Комбинация shift-реактора с узлом CCS в схеме перспективной воздушной ПГУ–ВЦГ [6] приведет к дополнительному снижению КПД установки на 7 % (КПД ПГУ–ВЦГ (нетто) составит 40 %).

#### Список использованных источников

1. Dodo S., Karishuku M. et al., MHI Tech. Review, 52, 2, 24-31 (2015).
2. J. R. Ladebeck and J. P. Wagner, Handbook of Fuel Cells – Fundamentals, Technology and Applications, 3, 2, 190-201, 2003.
3. Damen K., Gnutek R., Kaptein J. et al., Energy Procedia, 4, 1214-1221, 2011.
4. Nelson M., Rush R. et al., Kemper County IGCC Project. Preliminary Public Design Report, US Department of Energy, 2012.
5. Everitt E. Integrated Gasification Combined Cycle, Wyoming Coal Gasification Symposium Casper, Wyoming, 2007.
6. Абаимов Н.А., Амарская И.Б. [и др.]; под ред. Рыжкова А.Ф. Анализ технологических решений для ПГУ с внутрицикловой газификацией. – Екатеринбург: УрФУ, 2017.

УДК 66.041.51

**А. А. Чапурина, Е. В. Киселев**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ ПЕЧИ

#### Аннотация

*В работе рассмотрены конструкция и тепловая работа кольцевой печи для нагрева трубных заготовок перед прокаткой. Произведен расчет нагрева металла и составлен тепловой баланс действующей печи. По полученным данным выявлены основные недостатки конструкции и тепловой работы. Предложены мероприятия по техническому перевооружению печи с целью снижения расхода топлива и повышения производительности: замена кирпичной футеровки на волокнистую, применение скоростных горелок, использования не водоохлаждаемых перегородок. Для более полной оценки положительного влияния предложенных мероприятий был составлен новый тепловой баланс. Проанализирована работа печи после модернизации, определены новые показатели тепловой работы. При реализации предложенного технического перевооружения ожидается существенный экономический эффект, улучшение качества нагрева металла, при сокращении расхода топлива и увеличении производительности агрегата.*

*Ключевые слова: кольцевая печь; тепловой баланс; техническое перевооружение; нагрев металла; экономия топлива.*

### **Abstract**

*The design and thermal operation of a ring furnace for heating pipe billets before rolling are considered. The calculation of the heating of metal is made and the thermal balance of the operating furnace is compiled. According to the received data, the main drawbacks of the design and heat work are revealed. Measures are proposed for the technical re-equipment of the furnace in order to reduce fuel consumption and increase productivity: replacement of brick lining with fibrous, use of high-speed burners, use of not water-cooled partitions. To better assess the positive impact of the proposed activities, a new heat balance was drawn up. The work of the furnace after modernization has been analyzed, new indicators of heat work have been determined. When implementing the proposed technical re-equipment, a significant economic effect is expected, an improvement in the quality of metal heating, with a reduction in fuel consumption and an increase in unit capacity.*

*Keywords: ring furnace; thermal balance; technical re-equipment; heating of metal; fuel economy.*

Прокатное производство в металлургической промышленности является одним из основных, которое определяет свойства готовой продукции. Кроме того, для повышения конкурентоспособности, получаемого проката, важны и энергетические затраты при его производстве. Важнейшую роль, при этом, с точки зрения энергетических затрат, определяя качество металла, играют нагревательные печи.

Объектом исследования является кольцевая печь ТПА-140 цеха Т-2 «Синарского трубного завода» (рис. 1). Эта печь предназначена для нагрева трубных заготовок из углеродистых и низколегированных марок сталей перед прокаткой при температурах до 1250 °С. Топливом для печи является природный газ.

Кольцевая печь представляет собой металлический сварной каркас, диаметром 24,2 м, шириной вращающегося пода – 4,4 м заготовки, подлежащие нагреву, через окно загрузки в наружной стене печи укладываются загрузочной машиной на подину печи. За счет вращения подины заготовка транспортируется к окну выгрузки и машиной выгрузки выдается на рольганг, подающий ее к прошивному стану. Окна загрузки и выгрузки отделены от печи перегородками с двух сторон. Перегородки выложены на водоохлаждаемых трубах. Свод печи – подвесной, крепится к металлическим балкам каркаса печи с помощью подвесок, тяг и скоб.



Рис. 1. Кольцевая печь

Футеровка печи выполнена огнеупорными и теплоизоляционными материалами: шамот, диатом, муллитокорундовая масса (ММКН-90), изоляционный кирпич, асбокартон. Для исключения подсоса холодного воздуха в рабочее пространство, печь оборудована гидравлическим затвором. Печь оборудована газо-мазутными горелками в количестве 44 штуки проекта «Стальпроект», системой КИПиА. Горелка относится к классу комбинированных горелок с принудительной подачей воздуха от постороннего источника, с неполным предварительным смешиванием и с ручным управлением. Дымовые газы удаляются из печи дымососами Д-20 через дымовую трубу. Для подогрева, поступающего на горение воздуха, печь оборудована металлическим, трубчатым пяти – секционным рекуператором. Также для более глубокого использования тепла утилизируемых от кольцевой печи газов, используется водяной экономайзер.

Для оценки тепловой работы печи произведен расчет нагрева металла и составлен тепловой баланс, который представлен в таблице 1 [1–4].

Таблица 1

Тепловой баланс действующей печи

ПРИХОД			РАСХОД		
Статья прихода	кВт	%	Статья расхода	кВт	%
Химическая теплота топлива	22 429	89,4	Полезно затраченная теплота	13 069	52
Физическая теплота подогретого воздуха	2 629	10,5	Потеря теплоты с уходящими газами	8 643	34
Физическая теплота топлива	20	0,1	Химический недожог	449	2
			Потери в окружающую среду:		
			Теплопроводностью через под, свод, стенки печи	1 475	5
			Излучением через окна загрузки и выдачи	266	1
			С охлаждающей водой	1 177	6
Σ	25 079	100	Σ	25 079	100

При этом печь работает со следующими показателями тепловой работы: суммарный расход топлива –  $V=0,63 \text{ м}^3/\text{с}$ ; удельный расход условного топлива –  $v=56 \text{ кг у.т./т}$ ; КПД – 52 %.

Анализ статей теплового баланса и расчет показателей тепловой работы печи говорят о достаточно эффективной работе агрегата. Тем не менее, в настоящее время существуют технические возможности, в том числе и в данной печи для получения дополнительной экономии топливных ресурсов.

1. Кирпичную футеровку предлагается заменить на волокнистую. В настоящее время футеровка с использованием волокнистых материалов изготавливается по панельной технологии, что позволяет сократить срок монтажа при ремонте.

2. Кроме того, предлагается применить скоростные горелки, которые позволят интенсифицировать движение газов в рабочем пространстве печи; увеличить конвективную составляющую теплообмена; улучшить качество нагрева металла. При этом сокращается время нагрева металла и появляется возможность увеличить производительности печи, если это необходимо, или уменьшить расход топлива [5, 6].

3. В настоящее время имеются технические возможности использования не водоохлаждаемых перегородок кольцевой печи, что также даст положительный эффект в тепловой работе.

4. В качестве дополнительных мероприятий предполагается с большей эффективностью использовать теплоту уходящих газов, что позволит поднять температуру подогреваемого воздуха.

После анализа полученных результатов и для более полной оценки положительного влияния предложенных мероприятий был составлен тепловой баланс печи после технического перевооружения, который представлен в таблице 2 [1–4].

Таблица 2

Тепловой баланс печи после модернизации

ПРИХОД			РАСХОД		
Статья прихода	кВт	%	Статья расхода	кВт	%
Химическая теплота топлива	18 332	87,9	Полезно затраченная теплота	13 069	62,6
Физическая теплота подогретого воздуха	2 517	12,1	Потеря теплоты с уходящими газами	7 064	33,9
Физическая теплота топлива	16	0,1	Потери в окружающую среду:		
			Теплопроводностью через под, свод, стенки печи	466	2,2
			Излучением через окна загрузки и выдачи	266	1,3
$\Sigma$	20 865	100	$\Sigma$	20 865	100

При этом печь будет работать со следующими показателями тепловой работы: суммарный расход топлива –  $V=0,52 \text{ м}^3/\text{с}$ ; удельный расход условного топлива –  $\epsilon=40 \text{ кг у.т./т}$ ; КПД – 63 %.

Таким образом, при осуществлении предложенных мероприятий для технического перевооружения кольцевой печи можно ожидать следующие положительные эффекты её тепловой работы:

1. При замене кирпичной футеровки на волокнистую, потери теплопроводностью через футеровку, в абсолютном значении, снизятся в 4 раза.

2. При использовании не водоохлаждаемых перегородок полностью исключаются затраты теплоты на их охлаждение.

3. При использовании скоростных горелок сокращается время нагрева металла. Повторный расчет нагрева металла показал, что производительность печи увеличивается на 8%. В настоящее время производительность прошивного стана больше производительности печи, поэтому есть необходимость в ее увеличении [5, 6].

4. Уменьшается удельный расход топлива на 29 %.

5. КПД печи становится на 11 % выше, чем в действующем режиме работы.

6. Общая экономия топлива составит 17 %.

Таким образом, при реализации предложенного технического перевооружения ожидается существенный экономический эффект, улучшение качества нагрева металла, при сокращении расхода топлива и увеличении производительности агрегата.

### Список использованных источников

1. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Б.Ф. Зобнин, М.Д. Казяев, Б.И. Китаев, В.Г. Лисиенко, А.С. Телегин, Ю.Г. Ярошенко. Учебное пособие для студентов вузов. Изд. 2-е. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с.

2. Расчет нагревательных и термических печей: справ. изд. / Под ред. Тымчакова В.М. и Гусовского В.Л. Авт.: Василькова С.Б., Генкина М.М., Гусовский В.Л., Лифшиц А.Е., Масалович В.Г., Перимов А.А., Спивак Э.И., Тымчак В.М. – М.: Металлургия, 1983. – 480 с.

3. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. 2-е издание, доп. и перераб. / Е.И. Казанцев. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.
4. Китаев Б.И. [и др.]. Теплотехнические расчеты металлургических печей. – М.: Металлургия, 1970. – 528 с.
5. Вохмяков А.М. Исследование конвективного теплообмена в проходной печи, оснащенной скоростными горелками / А.М. Вохмяков, М.Д. Казяев, Д.М. Казяев // Цветные металлы, 2011, №12. – С. 89–93.
6. Вохмяков А.М., Казяев М.Д., Арсеев Б.Н., Казяев Д.М., Киселев Е.В. Методика исследования конвективного теплообмена в нагревательных печах // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Теория и практика нагревательных печей в XXI веке». – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2010. – С. 65–73.

УДК 162.2:0043.94

**Н. А. Черемискина, Н. В. Гребнева, Н. Б. Лошкарев, В. В. Лавров**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## КОНСТРУКЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ТИПА

### Аннотация

*Изложен принцип работы термической барабанной печи под закалку и отпуск с учетом ресурсо- и энергосбережения. Представлена принципиальная схема устройства. Приводятся технические характеристики печи.*

*Ключевые слова: барабанная печь непрерывного действия; рекуперативное горелочное устройство; ресурсосбережение.*

### Abstract

*The principle of operation of a rotary kiln with consideration of resource and energy saving describes at this article. A schematic diagram of the device is presented. Technical characteristics of the furnace are applied.*

*Keywords: drum continuous furnace; regenerative burner device; resources.*

Одним из основных этапов получения готового металлопроката и металлоизделий является термообработка. До сих пор большинство нагревательных печей имеют низкий КПД. Это связано с тем, что в данных нагревательных агрегатах имеются большие потери тепла через кладку и с уходящими из печи газами.

Одним из определяющих факторов конструкции нагревательных и термических печей и системы их отопления является способ транспортировки в них металла. Основными способами транспортировки металла в термических печах являются роликовые и конвейерные поды. Такие конструкции имеют ряд недостатков. Роликовые печи для нагрева длинных заготовок, устанавливаемые в потоке прокатных станов, имеют большую протяженность, поэтому их сложно размещать в действующих цехах.

Новый способ транспортировки проката в термических печах, существенно уменьшающий габариты печи, упрощающий механизмы транспортировки и не имеющий водоохлаждаемых элементов разработан учеными ОАО «ВНИИМТ» совместно с кафедрой «Теплофизика и информатика в металлургии» Уральского федерального университета.

Транспортировка проката в процессе нагрева осуществляется с помощью вращающегося барабана револьверного типа из жаропрочной стали. В качестве примера использования описываемого способа транспортировки приведена конструкция печи для нагрева тракторных башмаков под закалку (рис. 1).